

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN *Vol. 5 No. 1* 2015

JSAE エンジンレビュー

レポート特集:

自動車技術会 2014 年秋季大会

Report of JSAE Annual Congress -Autumn- (SENDAI)



公益社団法人 **自動車技術会**

- コラム : ●もの創りの喜び : 野口 勝三 / 編集委員 1
The joy of creating
- Report : 自動車技術会 2014 年秋季大会 2
Report of JSAE Annual Congress - Autumn -
小池 誠, 小酒 英範, 清水 健一, 下田 正敏, 鈴木 央一, 野口 勝三(編集委員),
伊東 明美(東京都市大学), 紙屋 雄史(早稲田大学)

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長: 飯田 訓正 (慶應義塾大学)
副委員長: 村中 重夫 (元日産自動車)
幹事: 飯島 晃良 (日本大学)
委員: 遠藤 浩之 (三菱重工業)
金子 タカシ (JX 日鉱日石エネルギー)
菊池 勉 (日産自動車)
小池 誠 (豊田中央研究所)
小酒 英範 (東京工業大学)
佐藤 唯史 (ケーヒン)
清水 健一 (元産業技術総合研究所)
下田 正敏 (日野自動車)
鈴木 央一 (交通安全環境研究所)
西村 知江子 (堀場製作所)
野口 勝三 (本田技術研究所)
平井 洋 (日本自動車研究所)
山崎 敏司 (編集)

発行所: 公益社団法人 自動車技術会
発行日: 2015 年 3 月 31 日
発行人: 竹村 純 (三菱自動車工業)
〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2
電話: 03-3262-8211

●コラム

もの創りの喜び

The joy of creating



野口 勝三
Katsumi NOGUCHI

(株)本田技術研究所
HONDA R&D Co.,Ltd.

近年のガソリンエンジン技術に、ダウンサイジング過給や、アトキンソンサイクル等の可変動弁系機構を活用した技術がトレンドとなっているのは、皆さん御承知の通りである。自動車用エンジンは、その特性の長所を多用するため、長年にわたり多数の可変機構が、技術者のアイデア、創意工夫や努力により創出されている。

過給は、言わば可変排気量であると考えられる。可変動弁系には、位相を変えバルブタイミングを可変とする機構、バルブタイミングとリフト量を可変とする機構等が種々あり、その目的に合わせ、違った使われ方をしている。筆者は、可変動弁系機構 VTEC (Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System) を自動車用エンジンとして、最初に量産化した開発に携わることができ、その後、進化のための研究開発にも幾つか参加できたので、概略を紹介する。

■ハイパワー DOHC VTEC

最初の VTEC は、1989 年インテグラに搭載された。量産自動車としては、世界初の可変バルブタイミング・リフト機構を備えたエンジンである。開発の目標出力は、リッターあたり 100 馬力、その当時の自然吸気エンジンでは、困難とされていた目標値が設定された。さらに、低速での出力、燃費、低排出ガスにおいても従来エンジンを上回る必要があり、VTEC 技術がそれを実現した。構造は、従来動弁系に高速用カムとロッカアームが追加され、ロッカアームの連結、分離を行うことで、低速用と高速用の動弁系切り替えを可能としている。

■地球環境にやさしい VTEC-E

低燃費と快適な走りを高次元で両立させるため VTEC-E を開発、1991 年シビックに搭載した。ここで開発された新動弁系技術は、低速は 2 本の吸気バルブのうち 1 本をほぼ休止し、スワールを生成させる。このスワールを活用することで、希薄混合気での急速安定燃焼を実現し、燃費向上を果している。また高速は VTEC が切り替わり、2 本の吸気バルブを作動させ、4 バルブにて高出力を達成している。その後さらに進化し開発されたのは、3 ステージ VTEC、1995 年シビックに搭載されている。この新技術は、上記の VTEC-E に中速が加わり、実用域でのトルク向上を図り低速、中速、高速の 3 ステージの切り替えを可能にしている。

■可変シリンダ VTEC VCM (Variable Cylinder Management)

走行中に 6 気筒と 3 気筒を切り替える、可変シリンダシステム V6 3.0L i-VTEC エンジンが 2003 年インスパイアに搭載された。運転状況の変化に応じて、瞬時に 6 気筒 3.0L と 3 気筒 1.5L を切り替え、高出力、低燃費、低排出ガスを実現している。ここで開発された新 VTEC 油圧-油圧切り替え技術は、低油圧領域でも高い応答性で、VTEC 切り替えを可能にしている。その後、進化型として、さらに 4 気筒燃焼が加わった、3 気筒・4 気筒・6 気筒燃焼可変シリンダシステムが開発されている。

VTEC の開発当初は、機構の成立性保証はもちろんのこと、8000rpm までの高回転化対応等、多くの課題が生じた。その課題を克服するために、また多くの新技術が開発された。新技術開発は、簡単には成功しない、だから面白い。技術者の腕(知恵)の見せ所である。インテグラの後この DOHC VTEC 技術は、1990 年初代 NSX に投入された。ミッドシップスポーツエンジンである。子供のころ模型で作って喜んでいたら、実物で創れる。乗って走ることもでき、今まで体感したことのない感覚を味わった。VTEC 切り替え後の高速バルブタイミングによる、トルクの盛り上がりと伸びの良い加速感、エンジンが奏でる美しいサウンド。お金を払ってでもこの開発に参加したいと言っている人も居た。このような新技術の研究開発は、各企業間の技術競争により進んだ。またライバルとの切磋琢磨により、技術者の人材育成も進んでいった。

最近日本の技術優位性低下が言われている。もの創り大国日本は有り続けられるのか？ もの創りには、自身の達成感のみならず、技術で社会貢献し、お客様にも喜ばれ、必要とされる喜びがある。2014 年度 国内では AICE と SIP が稼働し、産学官連携で技術者を育て、共創と競争で技術大国であろうとする動きが進んでいる。多くの若い優れた技術者により、将来を創造する技術大国日本が、永続的に進化することを期待したい。

自動車技術会 2014 年秋季大会

Report of JSAE Annual Congress -Autumn-

日時：2014 年 10 月 22 日（水）～10 月 24 日（金）

会場：仙台国際センター

主催：公益社団法人自動車技術会

小池 誠, 小酒 英範, 清水 健一, 下田 正敏, 鈴木 央一, 野口 勝三 (編集委員)
伊東 明美 (東京都市大学), 紙屋 雄史 (早稲田大学)

Makoto KOIKE, Hidenori KOSAKA, Ken-ichi SHIMIZU, Masatoshi SHIMODA, Hisakazu SUZUKI, Katsumi NOGUCHI
(JSAE ER Editorial Committee)

Akemi ITO (Tokyo City University), Yushi KAMIYA (WASEDA University)

1 ディーゼル燃焼 I

早稲田大・喜久里らは「燃焼室壁面温度分布の予測と燃焼特性および熱損失に及ぼす影響の検討」¹⁻¹⁾と題して講演を行った。ピストン、ヘッド等の各部位の表面上でも壁面温度の分布が存在し、これを算出するためには 3D-CFD と 3 次元壁面伝熱を連成して解く必要がある。本研究では a) 壁面の垂直方向の一次元のみに関する伝熱計算の連成 b) 詳細化学反応計算への陽解法の適応による高速化の手法を用い 3D-CFD において実用的な計算時間で壁面温度分布を算出するための計算コードを構築し、これを用いてディーゼルエンジンにおける壁面温度の時間的、空間的な変化が燃焼特性や熱損失に与える影響の基礎的な検討を行った。この計算コードにより算出された筒内温度を図 1-1 に示す。0-2deg.ATDC 付近で噴霧が燃焼室壁に衝突しながら燃焼が開始し、燃焼室下部を中心に高温部が広がる。次に熱流速、熱伝達率、壁面温度を図 1-2~4 にそれぞれ示す。0deg.ATDC においてピストンヘッドの燃焼室側部で熱流束が高い箇所が発生する。これは軽油噴霧による衝突噴流で熱伝達率が増大した(図 1-3, 0deg.ATDC)の影響である。ここで同時に、キャビティの縁上部にあたるシリンダヘッド壁面で熱流束の上昇が認められる。これはスキッシュ流によって熱伝達率が大きくなっている(図 1-3, 0deg.ATDC)ためである。

燃焼室の各部分における壁面温度の変化に関しては、図 1-5 左図に示される燃焼室各部分における、10 サイクル目の壁面表面温度のサイクル中の履歴を図 1-6 に示す。壁面温度は圧縮工程中いずれの箇所においても低下し、-20deg.ATDC 付近で上昇が始まる。-20deg.ATDC から上死点に至るまでの期間ではガス流速が増大する箇所(②, ⑤)で比較的大きい勾配を伴って壁面温度が上昇するが、これは流動によって熱伝達率が高くなったことによるものと考えられる。上死点直後の時期には、噴流が衝突する箇所(②, ⑤)で短期間に 30-40K の温度上昇がみられる。

このように 3D-CFD を用いて壁面熱伝達を考慮するための複数サイクルの燃焼計算を、実用的な計算時間で実施することが可能である。その結果、熱流束の積算を考慮することで壁面温度分布を算出することができる。これにより熱損失低減のアイデアの提題、その検証、実験との比較が可能になりこの領域の課題の進展に寄与するものと期待する。(下田)

【参考文献】

1-1) 喜久里陽, 草鹿仁, 大聖泰弘: 燃焼室壁面温度分布の予測と燃焼特性および熱損失に及ぼす影響の検討, 自動車技術会 2014 年秋季大会, No.130-14

2 ディーゼル燃焼 II

本田技術研究所の石原らは「高出力、低エミッション 1.6L ディーゼルエンジンの開発」について講演をした²⁻¹⁾。ホンダでは欧州でユーロ V 適合の 1.6L ディーゼルエンジンを CIVIC などに搭載して既に市販をしているが、同排気量ながらさらなる低燃費、高出力を達成しつつユーロ VI

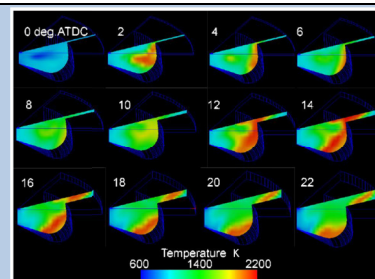


Figure 1-1 筒内温度分布

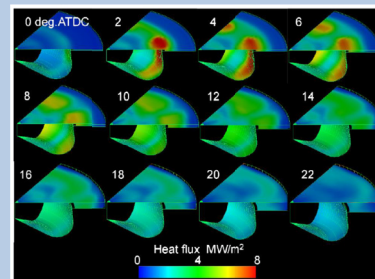


Figure 1-2 燃焼室壁面の熱流束分布

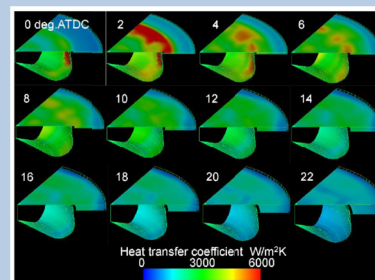


Figure 1-3 燃焼室壁面の熱伝達率分布

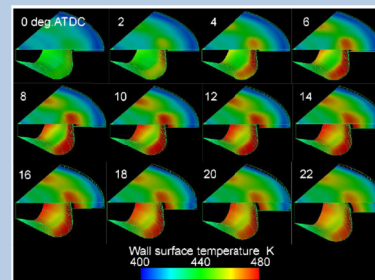


Figure 1-4 燃焼室壁面の温度分布

に適合した新エンジンとしての発表である。そのためには高過給化による高トルク化が必須となるが、単に大型の過給機を搭載するだけでは広範囲における高効率と過渡時の燃費、排ガス性能を確保できない。その課題を克服するアイテムとして2段過給機を搭載し、NOx対策としてNOx吸蔵還元触媒を搭載している。逆にそれ以外の主要コンポーネント、例えば燃料噴射系については諸元等の変更はないとのことである。そこで、最大のポイントといえる2段過給システムについて図2-1に示す。いわば「外側」に位置する低圧段ターボについては、高速、高出力時に十分な過給性能を有するもの(ウェストゲート=WGタイプ)とする一方で、高圧段については、低速時に十分な過給圧を確保する一方で高い応答性も必要という背反に対応するためにVGT(可変容量型)としている。その制御マップを図2-2に示す。低速域は高圧段ターボ、高速域は低圧段ターボをそれぞれ制御しつつ、その中間領域ではタービンバイパスバルブ(TBV)を制御することで全域での高い過給圧力と高効率を確保している。様々な状況で求められる要素に対して、高い妥当性を感じさせる制御といえるだろう。

近年低燃費化と高性能の両立を確保するものとして、過給ダウンサイジング化が顕著だが、排気量1Lあたり100PS出すというこのエンジンはディーゼルながらそのコンセプトを高次元で実現したものといえる。今後このような形で2段過給機を採用することは増えると思われ、高性能化の一つの指針を示したといえるかもしれない。このようなエンジンが国内でも採用されることを期待したい。(鈴木)

【参考文献】

2-1) 石原佳敬, 村上修, 田淵太郎, 佐々木裕二, 畑野潤一, 福島寛之, 青柳聡, 松尾雄一: 高出力, 低エミッション 1.6L ディーゼルエンジンの開発, 自動車技術会 2014 秋季大会, No.131-14

3 ディーゼル排気

日野自動車・佐藤らは「大型ディーゼル商用車用尿素 SCR システムの排出ガス特性について」³⁻¹⁾と題して講演を行った。筆者らは大型ディーゼル商用車用に開発した後処理システム(DPF付き尿素SCRシステム)において、規制物質であるNOx, PM, NMHC, COの排出評価だけでなく、未規制物質として温室効果ガス(GHG:Green House Gas)であるCO₂, N₂O(温暖化係数CO₂の298倍), CH₄(温暖化係数CO₂の25倍)や、微量有害成分として排出が懸念される炭化水素由来のホルムアルデヒド, アセトアルデヒド, 1-3 ブタジエン, ベンゼン, ベンゾ[a]ピレン, また還元剤である尿素由来のシアヌル酸, アンメリド, アンメリン, メラミンについて計測を実施した。実際に使用過程にある尿素SCRシステムを用いて、これだけ多くの成分を対象に測定された結果が公表された例は少なく貴重な知見といえる。これらの測定結果より以下のように結論づけている。

1) 16万km走行後のポスト新長期適合(DPR付き)尿素SCRシステムにおいて排出ガス測定を行ったところ、JE-05モードにおいてNOx, PMいずれも大幅低減ができており十分規制値以下である(図3-1)。より平均車速の低い東京都No.2モード(TMG2), 同No.5モードにおいても65%以上の高いNOx浄化性能を示した(図3-2)。

2) 未規制物質の排出量に関して、スリップアンモニアはいずれの運転モードに関して最大2ppm以下と低い値であった。また温室効果ガスの排出量比(CO₂排出量換算での比較)は、JE-05モード走行時にN₂O/CO₂=0.6%, CH₄/CO₂=0.03%と非常に小さいことが分かった。他の運転モードでもJE-05並みのレベルであった(図3-3)。軽油由来の未規制物質(図3-4)および尿素由来の未規制物質(図3-5)も非常に低いレベルであった。

以上のように、解析結果は非常に良いものであったが、その背景にあるものは

- 1) SCR触媒にアンモニアの吸着量と耐久性に優れたものを用いていること
- 2) EGRによりエンジン側で相当レベルまでNOxを低減した上で尿素SCRを適用しており、尿素水の添加量が理論当量よりリーン側で制御されていること、および触媒の活性温度や温度特性を考慮したヒートマネジメントであろうと推測する。(下田, 鈴木)

【参考文献】

3-1) 佐藤信也, 佐藤聡, 中村洋一郎, 平林浩, 細谷満: 大型ディーゼル商用車用尿素 SCR システムの排出ガス特性について, 自動車技術会 2014 秋季大会, No.132-14

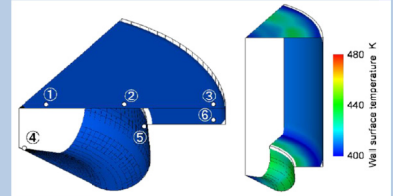


Figure 1-5 (左図) 燃焼室表面の温度モニター位置 (右図) IVC時の燃焼室壁温分布

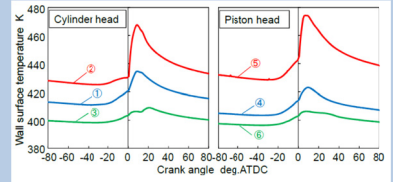


Figure 1-6 各位置におけるクランク角に対する壁表面温度の経過

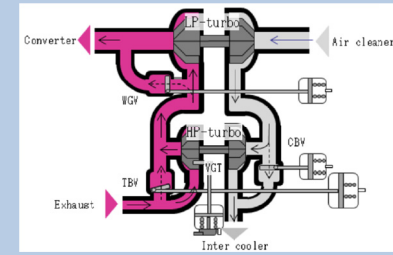


Figure 2-1 2ステージターボの模式図

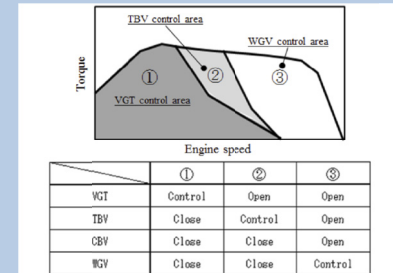


Figure 2-2 2ステージターボの制御マップ

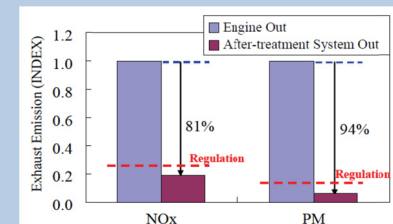


Figure 3-1 JE-05モードでのNOxとPMの低減効果

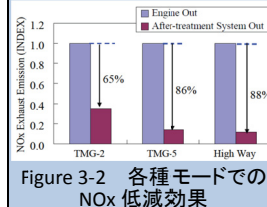


Figure 3-2 各種モードでのNOx低減効果

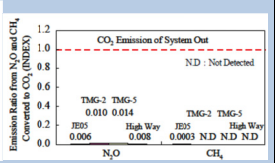


Figure 3-3 N₂OとCH₄のCO₂に換算した排出率

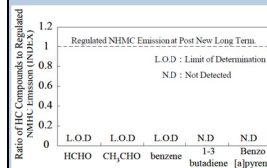


Figure 3-4 JE-05モードにおける軽油由来の未規制物質の測定

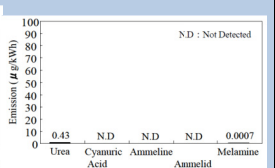


Figure 3-5 JE-05モードにおける尿素由来の未規制物質の測定

4 新エンジン・ガソリン燃焼 I, II, III

トヨタ自動車から過給直噴ガソリンエンジンに関する3件の発表^{4-1, 2, 3)}があった。これらは新型2.0L 過給ダウンサイジングエンジン ESTEC D-4ST に関し、それぞれは、エンジンコンセプトとその技術的特徴、燃焼系の詳細、突発的ブレイク要因解析と対策に分かれている。

本エンジンは4-2 集合エキゾーストマニフォールド一体ヘッドにトヨタ内製のツインスクロールターボとコンパクトな水冷インタークーラを組合せ(図 4-1)、トルクレスポンスの向上を図るとともに、中間ロックを追加した VVT 機構により軽負荷時のアトキンソンサイクルを実現していることが特徴である。比較機種 V6, 3.5L エンジンに対して低燃費領域が 1.5 倍拡大している。そのほか、クランクケース換気(PCV)に全運転域で動作できるエゼクタ式強制換気(図 4-2)を採用して潤滑オイルの劣化を抑制し、自然吸気式エンジンと同じ鉱物油系オイルを使用可能としている特徴がある。

燃焼系については、筒内噴射の混合気形成と乱れ強化の詳細が報告された。混合気形成では壁面燃料付着、オイル希釈の低減が主な改良点である。このエンジンでもトヨタ独自のファンプレーが使われているが、ボア壁面と干渉しやすい扇端部の貫徹力をノズル加工の工夫により低減している(図 4-3)。噴射期間の短い低負荷でも高い燃料圧力が利用できるよう、インジェクタ開閉弁制御にも改良が加えられている。乱れの強化については、高いタンブル流が得られるポート形状の開発と、このタンブルをできるだけ上死点まで維持できるようにピストン形状に変更が加えられている(図 4-4)。

これらは必ずしも新しい考え方とは言えないが、改良の積み上げによって出力向上と燃費改善を両立するとともに、過給直噴の課題といわれている PM 粒子数とオイル希釈の大幅な低減に成功している。

LSPI(Low-Speed Pre-Ignition)とも呼ばれる突発的ブレイクは比較的新しい問題であるが、トヨタ自動車は過去複数回に亘ってこの問題への取り組み内容を発表している。今回の発表の特徴は燃焼室内デポジットの影響について詳細に調べていることである。まず、筒内噴射によるオイル希釈が多いとデポジットが急速に形成されることを報告した。これは、過去、クリーニングしたエンジンでも直ぐに LSPI が発生するという実験結果に対する一つの回答を示したと考えることができる。また、シリンダ上部のボアやピストントップランドに形成されるデポジットは他の部位に比べて発火温度が低いという興味深い結果(図 4-5)と発火温度の低いデポジットを形成しやすいオイルほど LSPI 発生頻度が高いという実験結果と合わせてその影響を強調した。また、ガソリン混合気濃度の影響を調べて膨張・排気行程中の余剰酸素が LSPI 頻度や観察される赤熱スポット数に影響することを示した(図 4-6)。以上のことから、LSPI が発生しやすいプロセスとして、筒内噴射によるオイル希釈 → 発火温度の低いデポジットの形成 → 剥離 → 膨張排気行程における剥離デポジットの加熱 → 混合気の着火源、という解釈を提示した。この考察に基づき、オイル希釈を削減する噴霧・燃焼系の構成(図 4-7)、LSPI を検知したときの混合気濃度の制御の効果を確認し、新型 2.0L 過給ダウンサイジングエンジン ESTEC D-4ST では LSPI の発生抑制に成功したことを報告した。(小池)

「スパーク放電チャンネル形成に関する点火環境および放電波形特性の影響解析」⁴⁻⁴⁾と題し、白石(日産自動車)らによる発表があった。放電チャンネル伸長に着目し、ガス圧力・ガス流速および放電波形特性の影響解析を行い、更に EGR 燃焼限界との関係を報告している。図 4-8 に放電期間中の放電波形とスパーク放電チャンネルの時系列変化を示す。放電開始直後に放電チャンネルが形成される(図 4-8[A])。その後放電チャンネルの伸長に伴い抵抗が増大し放電電圧は、所定の傾きで上昇、所定値に達すると放電チャンネルが吹き消える。ここで1回目のリストライク発生、新たに短い放電チャンネルが再形成され(図 4-8[C])、また伸長し放電電圧上昇、この現象を繰り返す。リストライク発生までの時間($tr1 \sim tr4$)は、放電電流値縮小に伴い徐々に短くなる。従って放電チャンネル長さは、1 回目リストライク発生直前で最大となる。初回リストライク直前の放電チャンネル長さ($Lr1$)は、図 4-9 に示すように、高圧・高ガス流速下で増大すると述べている。1ms までの放電電流平均値($Iav1$)と初回リストライク直前放電長さ($Lr1$)の関係は、図 4-10 のように線形近似で相関が得られる。 $Lr1$ は、 $Iav1$ の増大に伴い、高圧・高ガス流速下で増大すると説明している。単気筒エンジンを用いた調査により、 $Iav1$ と EGR 燃焼限界にも相関が有る事を示した(図 4-11)。高回転時は高ガス流速であり、高電流化による放電チャンネル伸長効果により、EGR 燃焼限界が、さらに大きく改善されたと推察している。なぜ 1ms までの放電電流平均値($Iav1$)と相関が取れるのか?との質問に対し、今回 1ms

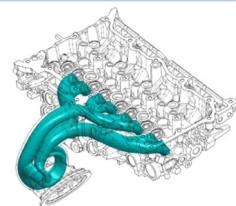


Figure 4-1 集合エキゾーストマニフォールド一体シリンダヘッド

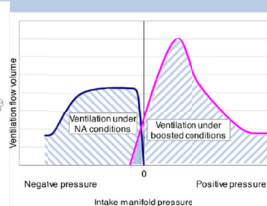


Figure 4-2 CV システム換気流量

| | Conventional | New |
|-----------------------|--------------|-----|
| Spray shape | | |
| Fuel sticking pattern | | |
| Fuel sticking at bore | | |

Figure 4-3 スプレー形状と筒内付着燃料可視化比較

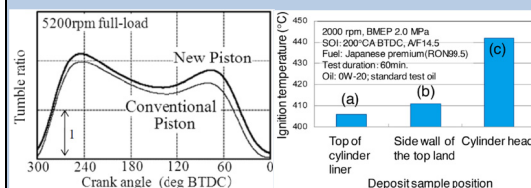


Figure 4-4 筒内非定常タンブル比

Figure 4-5 燃焼室内デポジット発火温度

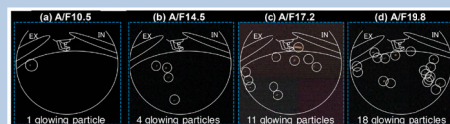


Figure 4-6 空燃比の変化による赤熱粒子数の差異

| | Base spray | Improved spray |
|------------------|------------|----------------|
| Spray shape | | |
| Adhesion pattern | | |

Figure 4-7 スプレー形状によるシリンダライナウエット低減

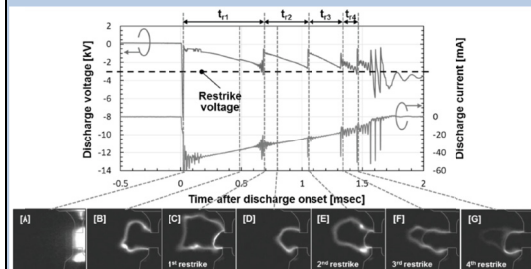


Figure 4-8 放電期間中の放電波形とスパーク放電チャンネル

で整理を行ったが、エンジン回転数等で、変わる可能性は有るとのことである。(野口)

【参考文献】

- 4-1) 鈴木 智章, 渡邊 泉, 川合 孝史, 米澤 幸一: 新型 2.0L 直列 4 気筒ガソリン直噴過給ダウンサイズエンジン, 自動車技術会 2014 年秋季大会学術講演会前刷集, No.94-14, (2014)
- 4-2) 中野 智洋, 中村 聡志, 藤田 恭史, 村瀬 栄二, 大谷 元希: ESTEC D-4ST 直噴燃焼システム開発, 自動車技術会 2014 年秋季大会学術講演会前刷集, No.94-14, (2014)
- 4-3) 岡田 吉弘, 宮下 茂樹, 矢口 寛, 泉 桂広, 青木 文明: デポジットによる LSPI 発生メカニズムに関する研究, 自動車技術会 2014 年秋季大会学術講演会前刷集, No.94-14, (2014)
- 4-4) 白石 泰介, 寺地 淳, 森吉 泰生: スパーク放電チャンネル形成に関する点火環境および放電波形特性の影響解析, 自動車技術会 2014 年秋季大会学術講演会前刷集, No.96-14, (2014)

5 EV, HEV

今大会では、車両に関する“EV, HV システム”と、構成要素に関する“パワーサプライ”, “モータシステム”, “非接触充電システム”の計 4 セッションに加えて、これ以外の幾つかのセッションでの発表があり、電動車両関連研究の対象の広がりが感じられた。コンポーネントに関しては基礎的な発表や野心的な発表が目立ったのに対し、車両システムに関してはより現実的な課題が目立った。

一般の内燃機関自動車でも冷間時は燃費が悪化するが、暖房が必要な季節の HEV ではその程度が顕著であることが知られている。伊東らはこの点を改善する HEV 制御方法を提案している⁵⁻¹⁾。これは図 5-1 に示すように、暖房のために冷却水温の上昇が緩やかになり EV モードへの移行が遅れるのが主因であることに着目し、電動ヒートポンプエアコンの併用により暖房のためのエンジン出力を高め、水温上昇とエンジンの高効率運転を図っている。燃料から電気暖房エネルギーへの変換率とヒータコア(通常の暖房用熱交換器)での変換率をパラメータにした駆動と暖房のシステム効率関数を定義し、各フェーズでこの関数を最大にする電気/ヒータコアの制御手順を求め、シミュレーションによってその妥当性を確認している。図 5-2 は、ある走行負荷と外気温におけるこのシミュレーションで求めた駆動・暖房のシステム効率の例で、EV 走行中はヒートポンプの負荷比率を、非 EV 走行時はヒータコアの負荷比率を大きくすることが必要であることを示している。HEV 走行時の負荷比率の制御は、熱と電気の蓄積エネルギーの大きさで決まる動作可能範囲内でシステム効率が最大になる点を選択する。図 5-3 は、外気温 5°C で、冷間状態から NEDC モードを走行した際の、この方法で制御した際と従来のヒータコアのみの場合のシミュレーション結果で、提案する方法で冷却水の昇温が早く SOC の上昇の面でも大きく改善が見られる。また、エンジンの動作頻度が小さくなるだけでなく、図 5-4 のエンジン出力のヒストグラムから低負荷での稼働が減少して、エンジンの効率が改善されていることが分かる。

運動エネルギーや位置エネルギーが大きい大型車は、現状の電池の性能では HEV の効果を充分発揮できるだけの電池の搭載が困難である点がネックになっている。大型 HEV 普及のための幾つかの発表があった。

現状の大型冷凍車は、冷凍機専用のサブエンジンを搭載したものと、駆動用エンジンで直接駆動するものがあるが、産業用エンジンを利用した前者は、性能は良いものの燃費や排気に難があり、維持費の大きさと相まって課題が多く、後者も経済性は良いものの冷房能力が走行速度に依存し、性能的に問題がある。加藤らは、図 5-5 に示す HEV の発電機能を利用(HEV 機能は非利用)して駆動する大型冷凍車用に開発した電動冷凍機について述べた⁵⁻²⁾。冷凍機そのものは、冷凍サイクルの高効率化によって COP を従来機比 20%、冷凍ユニットと圧縮機の一体化による冷媒損失の削減によって 5%、計 25% 向上させた(図 5-6)。車両搭載時の風損の低減や、外気/庫内温度に応じて圧縮機の回転数を制御して最高 COP での運転を可能にするなどの対策をした上で、車両の HEV ECU と冷凍機側 ECU 間で can 通信により常時情報を交換することにより適切な電力を発電することによって運用時のシステムの高効率化を実現し、サブエンジン式に比べて燃料消費量を 64% 削減できたとしている。

川田らはこれを搭載した車両の構成とその効果について述べた⁵⁻³⁾。開発された大型トラック電動冷凍車の主要諸元を表 5-1 に示す。車両の概要は図 5-7 に示すとおりで、キャビン上の圧

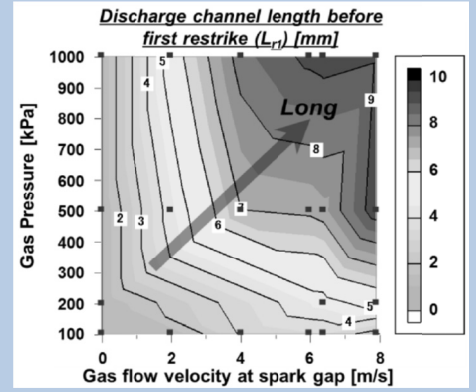


Figure 4-9 リストライク直前の放電チャンネル長さ(Lr1)

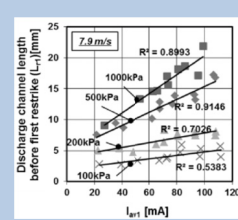


Figure 4-10 Lr1 と Iav1 の関係

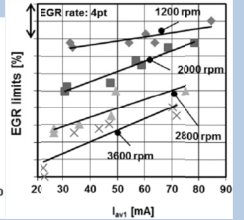


Figure 4-11 EGR 率 限界と Iav1 の関係

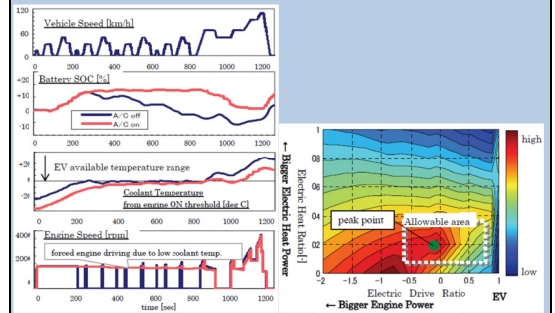


Figure 5-1 現状 HEV の冷却水温、電池 SOC の変化 (シミュレーションによる)

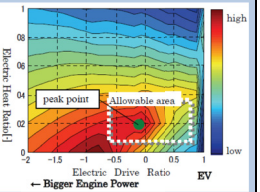


Figure 5-2 駆動/暖房システム効率マップ

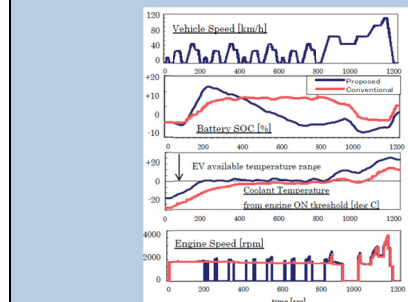


Figure 5-3 提案システムの暖房時の冷却水温、電池 SOC の変化

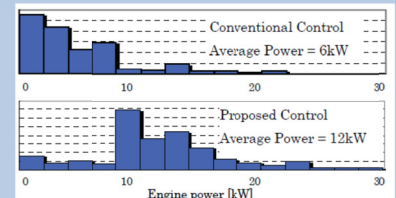


Figure 5-4 提案する制御によるエンジン動作域の変化

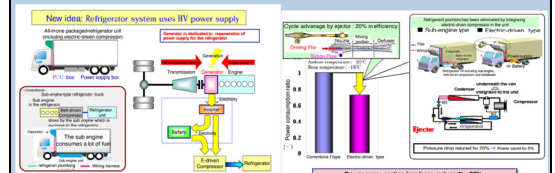


Figure 5-5 フル電動冷凍車のシステム概要

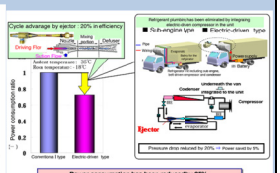


Figure 5-6 冷凍サイクルの改善

縮機一体型の冷凍ユニットと荷台下部の電池ユニットや PCU とは電氣的にのみ結合されており、搭載の自由度が高いとしている。市場モニタ評価時の夏期の荷室内温度は、図 5-8 に示すとおり良好であった。長距離配送を模擬した評価パターンで計測した冷凍架装部の各シーズンの燃料消費量は図 5-9 のとおりで、全シーズンの平均では、提案の電動式は直接方式より 29%、サブエンジン式より 64%改善されたとしている。

高効率パワートレイン車のネックの一つは走行以外に供されるエネルギーの大きさで、特に EV には暖房負荷の影響が大きく寒冷地域での EV 普及を難しくしており、画期的な空調システムや車両全体での熱管理などが求められている。今回は化学的な蓄熱に関する発表が 2 件あったが、そのうち一つが熱源をもたない EV などの空調も視野に入れた発表であった。小牧らは、化学蓄熱システムを用いた冷熱生成技術に関する提案と、予備的な試験による動作確認について報告した⁵⁻⁴⁾。蓄熱密度、反応速度、繰り返し安定性から、化学反応系には $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (水酸化カルシウム:Calcium Oxide)/ H_2O 系を用い、図 5-10 の基本構成図に示すように、化学反応物質を封入した反応器、反応媒体を凝縮・蒸発する熱交換器、それらを連結する配管とバルブで構成されたシステムで行われる。反応媒体である水が反応器に移動して CaO と結合する水と時に放熱し、熱交換機内の水の蒸発で冷熱を生成する。水が熱交換器方向に移動する脱水時には復水する際の凝縮熱を回収できる。図 5-11 のシステムを用いて動作検証とシステム評価を実施し、熱交換機内の圧力をバルブの開閉で一定範囲に留めることで 10% 以内のばらつきに押さえた 330W の冷熱出力(自動車用空調機の定常出力の 1/6 相当)が 55 分間継続でき、熱交換器通過後の空気温度を 12.5~15°C に維持出来ることを確認できた(図 5-12)。

電磁的な非接触給電システムに関しては、IEC 規格化が検討されている非接触充電器に対応するシステムや、実用時に有用な異物検知システム(詳細は後述)などの実用に向けた発表に対して、同システムで走行中の車両に給電する野心的な発表があった。保田らは、2014 春季大会で提案した路面側に複数の一次コイルを設けて車両の前後方向に長い磁極を構成し、これに対して車両側の一個の二次コイルでカップリングすることによって 2 次コイルの搭載位置が異なる車両に対応出来るシステム⁵⁻⁵⁾を拡張して、図 5-13 に示すように一次コイルを多数設置することによって走行中の車両へ給電するシステムへの可能性について論じた⁵⁻⁶⁾。IEC 規格に準拠した非接触充電システムとの併用が可能とし、設備化の費用等の試算によって可能性を示したが、費用を含めて不確定要素が多く、検討すべき課題も多い。(清水)

前田らは、EV の実使用条件と車載バッテリー劣化の関係性を把握することを目的に、市場を走行する EV から収集した各種データを用いて、容量と内部抵抗を推定する手法を検討した⁵⁻⁷⁾。容量劣化については、電圧変化(dV/dQ)最大点から満充電までの充電量を、新車時と比較することで推定している。また、推定ばらつき低減のために、各種フィルタリング(充電温度の範囲指定、等)を施すことで、最終的には実測値に対して±数%の誤差で評価できることを確認している(図 5-14)。内部抵抗については、走行時の電圧-電流プロットの傾きで推定しているが、ばらつき低減のために各種フィルタリング(温度、SOC、等)を施すことで、日数経過による内部抵抗増加傾向や、その推移が実測値とおおむね一致することを確認している(図 5-15)。最後に、検討手法に基づき市場走行 EV のバッテリー性能評価を行い、使用条件の異なる車両間(表 5-2)で、容量および内部抵抗の劣化進行に差異が生じていることを把握することに成功した。本技術は、例えば車載バッテリーの劣化度を運転手にリアルタイムで情報発信するようなシステム等、多方面に応用できる可能性を秘めているため、今後のさらなる推定精度向上に期待したい。

非接触給電型電動車両への充電中に送受電コイル間に金属異物が存在した場合、発熱や効率低下といった問題が生じる。しかし、これまでの異物検知システムにおいては、対象物の材質やサイズ等が制約される等の課題が存在していた。この様な背景のもと、藤田らは金属物や生物等の検出を可能とする、新たな非接触給電システム用異物検知システムを開発した⁵⁻⁸⁾。本システムでは、金属や水分の有無により変化する電気特性が静電容量であることに着目し、静電容量検知方式を採用している(図 5-16)。また、強磁場雰囲気下においても安定的な動作を保証するために、誘導電流を相殺する無誘導コイル形状の電極を配置して静電容量部を構成している(図 5-17)。本論文では、開発システムを用いた異物検知実験結果についても報告している。具体的には、金属異物としての硬貨や模擬生物としての水風船を用いたインピーダンス/位相差特性評価実験を、晴天時と雨天時を模擬した環境下にて行い、位相差によって、天候の影響をほとんど受けずに異物の存在を安定的に検知できることを証明している

Table 5-1 大型トラック電動冷凍車の主要諸元

| Drive System | 6*2 | 8*4 |
|-------------------------|-------------------|-------------|
| Model | E13C-XVII | ← |
| Type | 6-cylinder inline | ← |
| Displacement[L] | 12,913 | ← |
| Max Power[kW(rpm)] | 279/1,700 | ← |
| Max Torque[Nm(rpm)] | 2,157/1,100 | ← |
| Transmission | AMT(12speed) | ← |
| Differential Gear Ratio | 2.228 | 2.388 |
| Tire Size | 275/80R22.5 | 245/70R19.5 |



Figure 5-7 電動冷凍車の概観

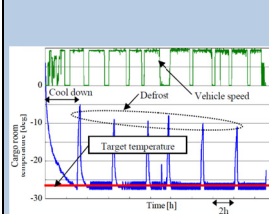


Figure 5-8 フィールド試験時の荷室温度の変化

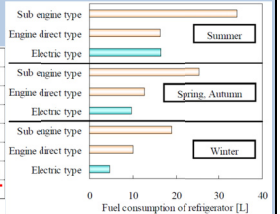


Figure 5-9 シーズンごとの各形式の燃費の比較

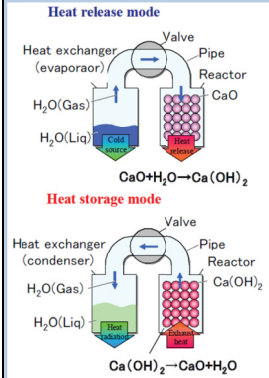


Figure 5-10 化学蓄熱の作用原理

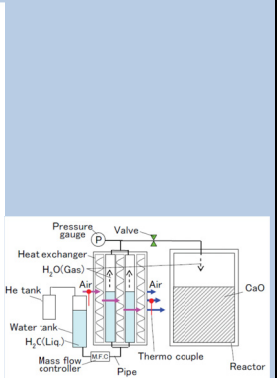


Figure 5-11 動作検証システムの概要

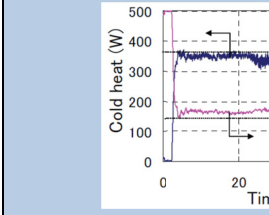


Figure 5-12 冷熱出力と熱交換器出口の空気温度

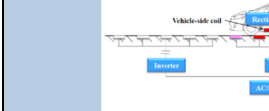


Figure 5-13 提案する走行中給電システムの概念図

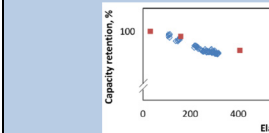


Figure 5-14 容量維持率の推測値と実測値

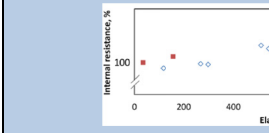


Figure 5-15 電池パックの内部抵抗の変化

Table 5-2 供試車両の使用履歴と充電履歴

| Area | Period day | Mileage km | Quick_chg times | SOC % | SOC(chg) % | C' rate | Temp degree C | |
|----------|------------|------------|-----------------|-------|------------|---------|---------------|----------|
| | | | | | | | | Sample A |
| Sample A | Tokyo | 982 | 5,856 | 0 | 76 | 49 | 0.20 | 18 |
| Sample B | Tokyo | 982 | 6,816 | 0 | 78 | 48 | 0.20 | 19 |
| Sample C | Okinawa | 651 | 10,126 | 5 | 90 | 63 | 0.20 | 25 |
| Fleet A | Ibaraki | 1,005 | 74,523 | 639 | 79 | 34 | 0.40 | 19 |
| Fleet B | Thuraki | 1,005 | 38,768 | 366 | 83 | 48 | 0.28 | 18 |

Area : Driving area
Mileage : Total mileage after start of data collection
SOC : Average SOC
C' rate : Average C' rate at driving
Temp : Average near-battery temperature

(図 5-18)。今後は、性能面だけでなく、開発システムのコスト削減等にも期待したい。(紙屋)

【参考文献】

- 5-1) 伊東悠太郎, 岡本強, 森本洋平, 池本宣明, 八木豊児(デンソー): ハイブリッド車における駆動-暖房協調エネルギー管理, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集 No.117-14(2014)
- 5-2) 加藤信治, 浜島幸一, 富田典之(デンソー): HVトラック用大型電動冷凍機の開発, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集 No.151-14(2014)
- 5-3) 川田 泰, 古今惇也, 山口公一(日野自動車): 大型トラック電動冷凍車の開発, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集 No.117-14(2014)
- 5-4) 小牧 克哉, 秋田賢二, 早瀬友宏, 後藤洋亮, 今村朋範, 桑山和利, 西島義明(デンソー), 志満津孝, 若杉知寿(豊田中央研究所): 化学蓄熱を用いた冷熱生成技術, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集 No.109-14(2014)
- 5-5) 自動車技術会 2014 年春季大会, JSAE エンジンレビュー, Vol.4, No.4(2014)pp9
- 5-6) 大場 紀章, 保田富夫, 佐藤元久(テクノバ): 走行中非接触給電システムの提案, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集 No.149-14(2014)
- 5-7) 前田安正, 黒川陽弘, 森田賢治, 今村大地(日本自動車研究所): 大規模なデータ収集による電気自動車の電池性能評価, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集, No.106-14(2014)
- 5-8) 藤田稔之, 藤田幸一, 保田富夫(テクノバ): 非接触給電用異物検知システム, 自動車技術会 2014 年秋季学術講演会前刷集, No.149-14(2014)

6 エンジン部品&トライボロジー I, II

エンジン部品の中でも運動系部品およびそのトライボロジーを扱うこのセッションでは、主にエンジンの燃費低減およびオイル消費低減に端を発する要求に対する回答が示されていた。エンジンの燃費低減のため摺動面では、直接的には摩擦損失低減が、間接的にはエンジンの小型高出力化に耐える高信頼性が求められる。一方でオイル消費低減は古くから存在する課題であるが、近年ではガソリンエンジンのプレイグニッションの要因であるとされ、いっそう低減に対する要求が高まっている。

本セッションでは、エンジン開発上の要求に直接的にこたえる内容が多く見られた。たとえば「微粒子衝突法を用いた内燃機関用ピストンの高強度化」⁶⁻¹⁾では、アルミニウム合金製ピストンの高強度化技術として、微粒子衝突法を採用した事例が藤原ら(アート金属工業)により紹介された。アルミニウム合金は高温にさらされることで結晶が粗大化し、強度が低下する(図 6-1)。しかし微粒子を衝突させて表面を改質することにより、合金内に酸化した微粒子が埋没し、アルミニウム合金部を取り囲むことにより、結晶の粗大化を防いでいることが示された(図 6-2)。この技術により、高温疲労試験において約 2.5 倍の寿命向上が確認されている。

一方で、摺動面の机上評価手法の確立および精度向上は本分野の大きな課題であるが、今回はこのような観点で取り組まれた研究は少なかった。その中で、小田橋ら(群馬大学)による「ピストンスカート部のフリクション解析」⁶⁻²⁾では、ピストン摩擦損失予測精度向上のため、油膜破断域における筋状油膜がピストンの摩擦力に及ぼす影響が示された。運転条件あるいはピストン形状によっては図 6-3 のような筋状の油膜が油膜破断域に発生する。可視化結果に基づき算出された筋状油膜が摩擦平均有効圧に占める割合は、3.5%から 9.9%程度の値を示した(図 6-4)。筋状油膜が発生するための条件や油膜計算上の取り扱い等、多くの課題は残るが、今後の研究に注目したい。(伊東)

【参考文献】

- 6-1) 藤原 信幸, 山口 一守, 山川 直樹, 酒井 勉, 末武 弘士, 宮坂 四志男: 微粒子衝突法を用いた内燃機関用ピストンの高強度化, 自動車技術会 2014 年秋季大会講演前刷集 225-20145697
- 6-2) 小田橋 一憲, 山田 表, 川島 久宜, 石間 経章, 鈴木 秀和: ピストンスカート部のフリクション解析, 自動車技術会 2014 年秋季大会講演前刷集 224-20145755

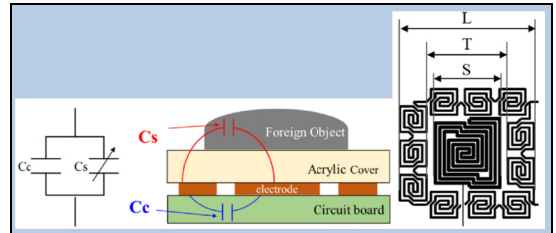


Figure 5-16 センサの断面と等価回路

Figure 5-17 電極の形状

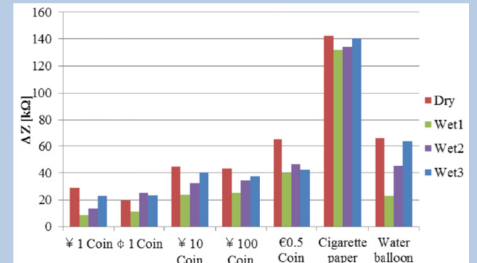


Figure 5-18(a) インピーダンスの変化

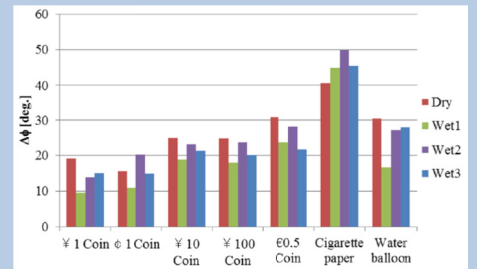


Figure 5-18(b) 位相の変化

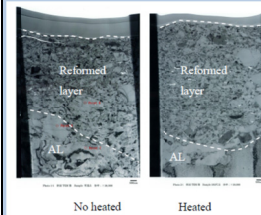


Figure 6-1 熱によるアルミニウム合金の結晶粗大化

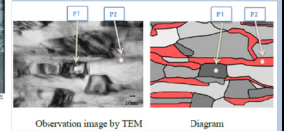


Figure 6-2 微粒子衝突の結晶粗大化防止効果

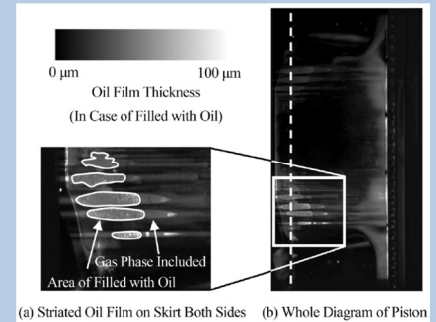


Figure 6-3 ピストンスカート部の筋状油膜

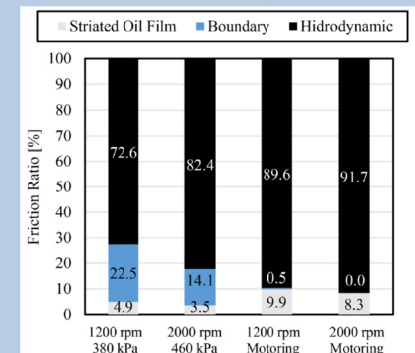


Figure 6-4 筋状油膜の摩擦損失割合

7 HCCI

セッション「HCCI」において、養祖ら⁷⁻¹⁾はイソオクタンとノルマルヘプタン混合燃料(PRF 燃料)の簡易反応スキームを基に、多様な燃料成分種を含む混合燃料の着火を予測できる新たな手法を発表した。PRF 燃料の反応スキームには鶴島らの開発した化学種 33, 反応数 38 の簡易反応機構を用い、着火反応を支配する反応として HCHO と H₂O₂ の生成反応に注目し、これらの化学種生成に寄与する反応の反応速度を与えるパラメータを最適化することで、トルエンなどの他成分が含まれる場合の着火を模擬する。すなわち、トルエンを混合成分として追加する場合には、これをイソオクタンで置換し、HCHO と H₂O₂ の生成量がトルエン混合した場合と同じになるように、これら化学種の生成に寄与する反応の速度定数を最適化する。最適化については、詳細化学反応機 Model Fuels Consortium(MFC)で開発された MFC 2011 Gasoline Mechanism と MFC 2008 ETBE Mechanism をマージした機構による解析結果をリファレンスに、最適化手法として Particle Swarm Optimization(PSO)を用いて実施している。図 7-1 は、開発された簡易スキームと MFC 詳細反応機構による、ガソリン HCCI 機関の数値解析結果を比較している。これらの結果より、開発された簡易スキームは、ガソリン HCCI 燃焼における、混合燃料成分の影響、空気過剰率の影響、EGR 率の影響を詳細反応機構と同等に表現できていることがわかる。多様な燃料成分種に対応できるガソリン燃焼簡易反応として今後の応用が期待される。

同じくセッション「HCCI」において田中ら⁷⁻²⁾は、PRF 燃料予混合気の着火遅れの総括反応式を、詳細反応機構解析結果をもとに構築した結果について発表した。炭化水素の酸化過程を記述する詳細化学反応機構 KUCRS により、燃料濃度、酸素濃度、窒素濃度、混合気熱容量、第 3 体濃度が着火遅れに与える影響を数値解析し、その結果を考察することにより、高温領域と、低温領域における総括反応式を作成している。さらに、これらの温度領域の間にある、負の温度依存性領域(中間温度域)については、低温領域と高温領域において得られた総括反応式で算出される 2 つの着火遅れを用いて重み係数 B により算出する方法を提案している。これにより、詳細班の機構による着火遅れを、総括反応の簡便な式により模擬算出できる。図 7-2、7-3 はノルマルヘプタンイソオクタン混合気の着火遅れを開発された総括反応式と詳細反応機構 KUCRS により解析した結果の比較である。圧力を 2.03MPa, 3.04MPa, 4.05MPa と変化させた結果が示されている。図で黒色線は総括反応式、灰色線は KUCRS による結果である。凡例に記載されていないが、圧力の上昇に伴い着火遅れは短縮される。中間温度域と高温温度域の境界付近を除き、開発された総括反応式は、詳細反応機構による解析結果をよく模擬している。開発された着火遅れに関する総括反応式は、着火遅れの当量比と温度依存性のみならず、燃料濃度依存性、酸素濃度依存性、熱容量依存性、第 3 体濃度依存性を個別に考慮でき、この総括反応式により燃料予混合気の着火遅れが精度よく算出できれば、これをリーベングッド-ウー積分することで CFD によるエンジン燃焼解析における着火反応解析の計算負荷を著しく低減できる可能性がある。(小酒)

【参考文献】

- 7-1) 養祖 隆, 山川 正尚, 田中 亮, 草鹿 仁: 燃料成分種に対応できる簡略化反応スキームの開発, 自動車技術会 2014 年秋季大会講演前刷集 174-20145626
- 7-2) 中谷 匡希, 桑原 一成, 多田 卓矢, 古谷 正広, 小橋 好充, 酒井 康行, 松村 恵理子, 千田 二郎: 化学反応速度論にもとづくオクタン価リファレンス燃料の着火遅れ式(第 2 報), 自動車技術会 2014 年秋季大会講演前刷集 175-20145828

8 エンジン部品

セッション「エンジン部品」では、佐竹ら⁸⁻¹⁾がディーゼル燃料噴射ノズルのボディシート部の摩耗と変形の機構を、実機コモンレール噴射装置を用いた摩耗試験機により実験的に調査した結果について報告した。ノズルボディシート部にはニードル弁が燃料噴射圧力以上の面圧で押し付けられ、噴射の度にニードルの離脱と接触が繰り返される部分であり、シート部の摩耗や変形が進むと噴射特性に影響する可能性がある。実機コモンレール燃料噴射装置による 50 時間噴射試験前後のシート部表面形状の計測によりシート部の変形量を計測し、シート部温度とニードル表面の DLC 被膜の有無がシート部の摩耗量と変形量に与える影響を明らかにしている。試験後のシート部はニードル片部の接触部が凹み、それより下流側で隆起する。これら

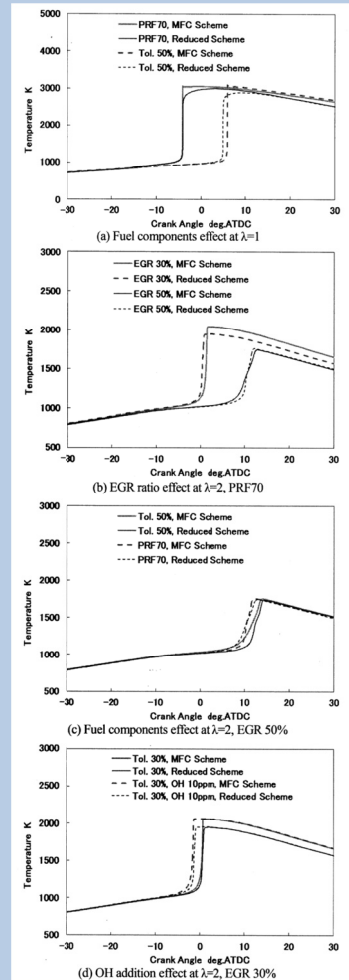


Figure 7-1 ガソリン HCCI 燃焼の詳細反応機構解析と簡易反応機構解析の比較

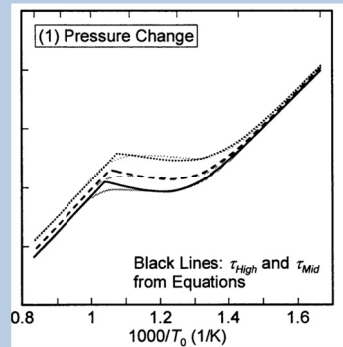


Figure 7-2 総括反応式と詳細反応機構解析によるノルマルヘプタン予混合気の着火遅れの比較(圧力の影響)

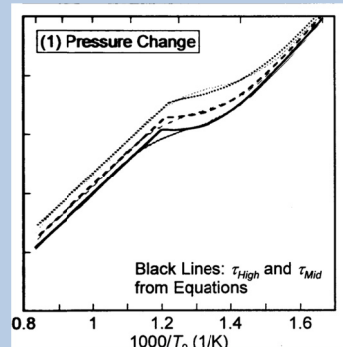


Figure 7-3 総括反応式と詳細反応機構解析によるイソオクタン予混合気の着火遅れの比較(圧力の影響)

変化量をそれぞれ計測している。図 8-1、図 8-2 は試験前後のシート部表面形状と、試験後のノズルを切断し、シート部表面から 2・m と 7・m の深さにおける高度をナノインデンタで計測した結果である。図 8-1 は DLC をニードルに被膜したノズル、図 8-2 は DLC 被膜のないノズルの結果である。DLC 被膜ノズルではニードル接触する部分で高度が上昇しているが、DLC 被膜のないノズルでは高度上昇がほとんど認められない。また、シート部の電子顕微鏡による観察から DLC 被膜のないノズルでは腐食摩耗痕が観察されたのに対し、DLC 被膜ノズルでは摩耗痕が観察されなかった。これらの結果から、DLC をニードルに被膜したノズルのシート部変形は主に塑性変形によるものであり、DLC 被膜無のノズルでは主に腐食摩耗によりシート部が変形することを示している(図 8-3)。(小酒)

【参考文献】

8-1) 佐竹晃, 孫正基, 小林郁夫, 益子正文, 佐藤進, :ディーゼル燃料噴射装置のノズルシート部摩耗と変形に関する研究, 自動車技術会 2014 年秋季大会講演前刷集 166-20145854

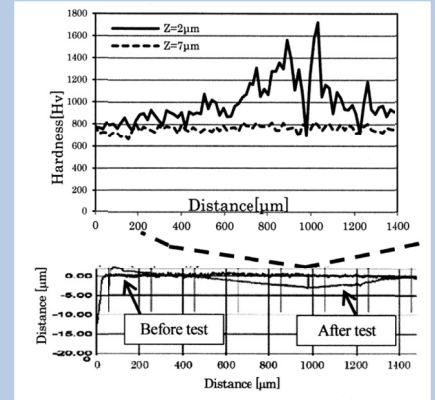


Figure 8-1 ニードルに DLC 被膜があるノズルのシート部断面の硬度分布(上)とシート部形状(下)

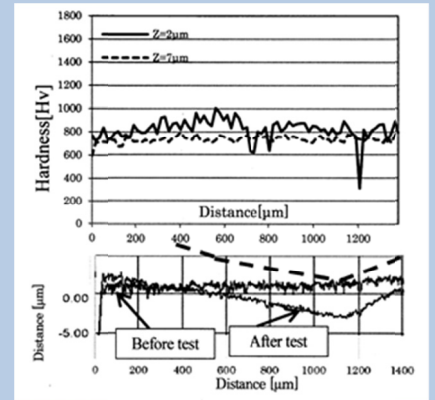


Figure 8-2 ニードルに DLC 被膜がないノズルのシート部断面の硬度分布(上)とシート部形状(下)

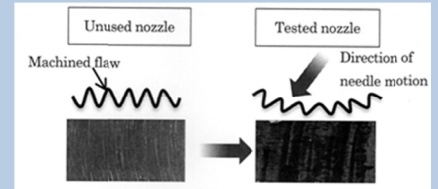


Figure 8-3 ニードル DLC 被膜ノズルのボディシート部摩耗機構